

Особенности накопления радионуклидов в древесине на территории проведения подземных ядерных взрывов по результатам f-радиографии

Ю.Л. Замятина, Т.А. Архангельская, Л.П. Рихванов, А.А. Капустина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для получения достоверной информации о содержании радионуклидов в объектах окружающей среды применяют высокоточные методы анализа. Среди таких методов есть группа радиографических методов, которые относятся к ядерно-физическим методам исследования и позволяют определять общее количественное содержание определенных радионуклидов, их пространственное распределение и локальные концентрации. Радиографические методы основываются на регистрации различными детекторами излучения от исследуемого объекта с последующим выявлением следов этого излучения.

Среди известных радиографических методов особое место занимает метод осколочной радиографии (*f*-радиографии). F-радиография является уникальным методом анализа делящихся радионуклидов (элементы, делящиеся при воздействии тепловых нейтронов – ^{235}U и трансурановые радионуклиды (^{239}Pu , ^{241}Am и др.)) в самых различных объектах. Метод позволяет с высокой точностью определять количественное содержание делящихся радионуклидов, пространственное их распределение, а также формы нахождения в исследуемом объекте [1]. Данный метод является инструментальным и позволяет выполнять анализ без химической подготовки и разрушения пробы.

В основу метода *f*-радиографии положена реакция деления ядер атомов радиоактивных элементов (урана, плутония и др.) под действием тепловых нейтронов и регистрация осколков деления на детекторе. При этом на детекторе, в качестве которого используется, например лавсановая пленка, фиксируются следы от осколков деления (треки), которые можно наблюдать в электронный микроскоп, а после соответствующей обработки и в оптический микроскоп. Количество треков пропорционально содержанию радионуклида в данной точке исследуемого образца [1].

Использование метода *f*-радиографии для исследования таких природных объектов, как растительность, почва, торф и др. позволяет вести мониторинговые исследования радиационной обстановки на любой территории. При этом индикаторным показателем радиоактивного загрязнения окружающей среды будут являться делящиеся радионуклиды. Эта группа радионуклидов присутствует в составе практически всех выбросов и сбросов, которые произошли в результате активной деятельности человека по использованию атомной энергии.

Например, при использовании метода *f*-радиографии для исследования древесной растительности анализируется радионуклидный состав древесины, а именно изучается уровень и характер накопления делящихся радионуклидов в годовичных кольцах. Информация о содержании делящихся радионуклидов в годовичных кольцах деревьев позволяет восстановить динамику радиационной ситуации на территории произрастания изучаемых деревьев за длительный период.

Методические особенности проведения f-радиографического анализа древесины изложены в методических указаниях НСАМ № 64, патенте РФ №. 2265869 «Способ оценки радиоэкологического загрязнения окружающей среды», а также в опубликованной литературе [2-5].

Требуемое для выполнения f-радиографического анализа облучение потоком тепловых нейтронов обеспечивается на исследовательском ядерном реакторе университета.

При проведении f-радиографического анализа древесины используется урановый эталон с известной концентрацией ^{235}U . Для определения концентрации делящихся радионуклидов проводится пересчет плотности треков от осколков делящихся радионуклидов в соответствующее ей количественное содержание, для чего используются данные по урановому эталону (плотность треков от осколков деления, зафиксированная от

эталона с известным содержанием ^{235}U). При этом определяется общая концентрация всей совокупности делящихся радионуклидов (используемая технология не позволяет выделять каждый делящийся радионуклид отдельно), которая условно принимается за «эквивалентный уран».

С применением метода f-радиографии были проведены исследования по изучению многолетней динамики поступления в древесину деревьев (сосен) делящихся радионуклидов на территории участков проведения четырех подземных ядерных взрывов (ПЯВ) («Горизонт-3», «Кратон-2», «Метеорит-2» и «Плутон-1»), расположенных в Красноярском крае. Для экспериментальных исследований были отобраны спилы сосен, произрастающих в радиусе не более 100 метров от боевых скважин каждого из исследуемых ПЯВ.

На участке ПЯВ «Горизонт-3» был отобран образец древесины, имеющий 82 годовых кольца, что соответствует временному периоду развития дерева с 1929 по 2010 гг. После выполнения f-радиографического анализа была установлена динамика накопления делящихся радионуклидов во всех годовых кольцах изучаемого образца древесины (т.е. за период времени 1929-2010 гг.) на основании данных о плотности треков от осколков деления делящихся радионуклидов, накопленных в каждом годовом кольце. Характер распределения треков от осколков деления по всем годовым кольцам показан на рисунке 1.

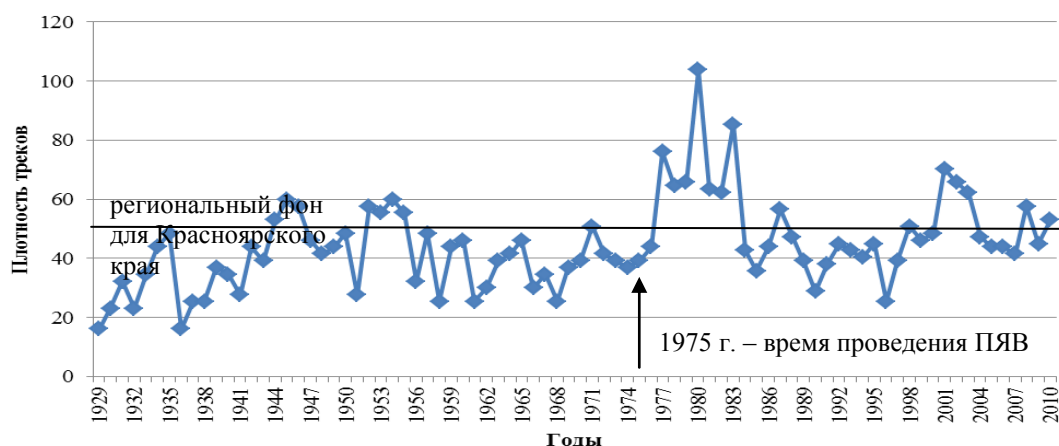


Рис. 1. Распределение треков от осколков деления в годовых кольцах сосны, произрастающей на территории участка «Горизонт-3»

При изучении данного образца был получен длительный ряд наблюдений по накоплению радионуклидов в годовых кольцах, который охватывает доядерный период (до 1945 г), период испытания ядерного оружия в атмосфере, период проведения ПЯВ «Горизонт-3» (1975 г.) и современную ситуацию поступления в окружающую среду делящихся радионуклидов. Таким образом, изучая данный образец можно оценить уровень накопления делящихся радионуклидов в древесине в период проведения ПЯВ в сравнении с другими временными отрезками.

По результатам анализа было вычислено среднее содержание делящихся радионуклидов по всем годовым кольцам, которое по плотности треков составило 44 трека/мм², что в количественном выражении оценивается как 0,056 мг/кг «эквивалентного урана». Полученное значение сопоставимо с ранее установленным фоновым уровнем накопления делящихся радионуклидов в древесине для территории Сибирского региона в целом (0,06-0,09 мг/кг), и для Красноярского края (0,06 мг/кг) в частности [4-5].

Анализ динамики распределения треков по годовым кольцам показывает, что год проведения ПЯВ «Горизонт-3» (1975 г.) не выделяется на фоне общей динамики каким-либо повышенным накоплением делящихся радионуклидов, при этом последующий 5-летний период после проведения ПЯВ характеризуется резким увеличением содержания

делящихся радионуклидов, о чем свидетельствует повышение плотности треков в годовичных кольцах, соответствующих 1977-1982 годам. Данный факт может свидетельствовать о влиянии проведенного ПЯВ, которое нашло отражение в увеличении концентрации делящихся радионуклидов, поступивших по корневой системе в древесину. После середины 80-х гг. динамика накопления уменьшается и, в среднем, находится на уровне 46-50 треков/мм².

Результаты исследования образца древесины, отобранного на участке проведения ПЯВ «Метеорит-2» показаны на рисунке 2. ПЯВ «Метеорит-2» являлся одним из самых мощных взрывов на территории Красноярского края – 15 кт в тротиловом эквиваленте [6]. В результате проведения датировки было установлено 40 годовичных колец, что соответствует временному периоду 1971-2010 гг. Возраст данного образца позволяет получить ограниченный ряд временных наблюдений по накоплению делящихся радионуклидов в годовичных кольцах, но, тем не менее, время проведения ПЯВ «Метеорит-2» (1977 г.) отражает, как и современную картину поступления в окружающую среду делящихся радионуклидов.

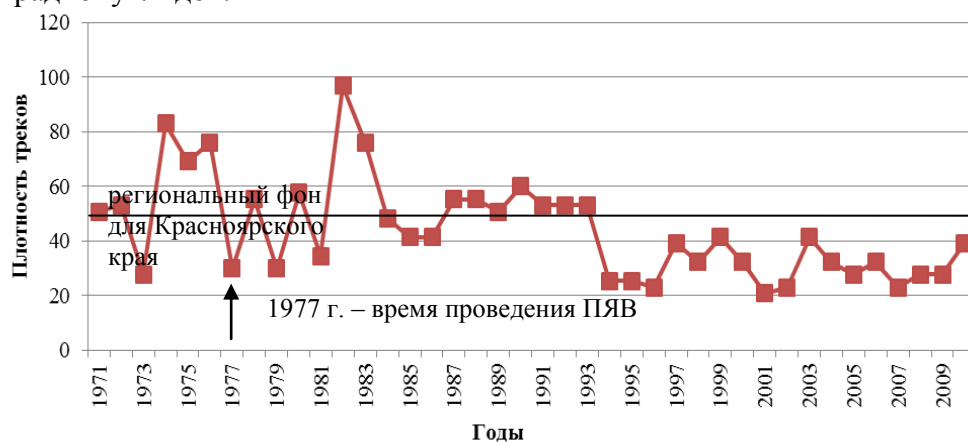


Рис. 2. Распределение треков от осколков деления в годовичных кольцах сосны, произрастающей на участке ПЯВ «Метеорит-2»

По результатам анализа было вычислено среднее содержание делящихся радионуклидов по всем годовичным кольцам, которое по плотности треков составляет 44 трека/мм², что в количественном выражении оценивается как 0,056 мг/кг «эквивалентного урана». Полученное значение, также как и в предыдущем случае, сопоставимо с ранее установленным фоновым уровнем накопления делящихся радионуклидов в древесине.

Анализ динамики распределения треков по годовичным кольцам показывает, что год проведения ПЯВ «Метеорит-2» (1977 г.) попадает в серию колец (1974-1983 гг.) с несколько повышенным, относительно среднего значения, содержанием делящихся радионуклидов. Данный факт, вероятно, отражает более активное усвоение элементов, в целом, в ранний период развития данного конкретного дерева. В последующем периоде изменение концентрации радионуклидов находится на уровне среднего значения по всем годовичным кольцам.

Результаты исследования образца древесины, отобранного на участке проведения ПЯВ «Кратон-2» показаны на рисунке 3. В результате датировки данного образца было установлено, что количество годовичных колец – 50 и соответствует временному периоду 1959-2010 гг.

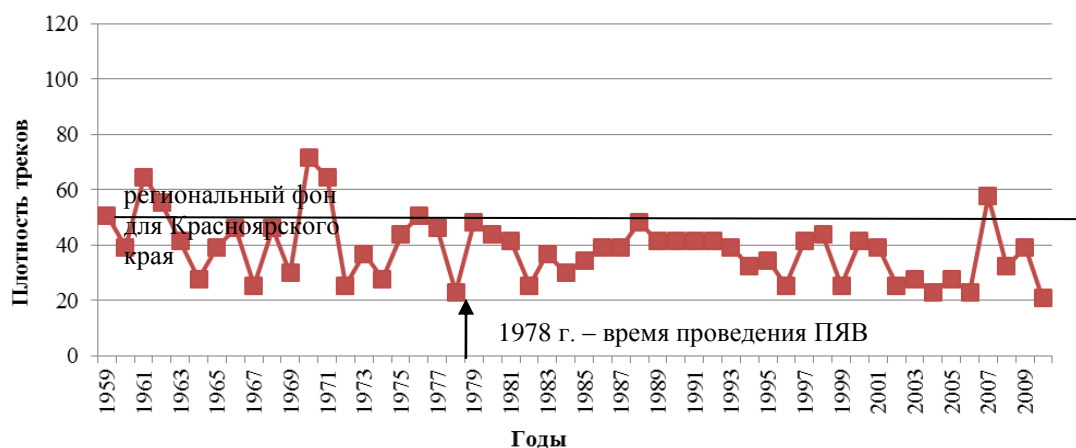


Рис. 3. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, произрастающей на участке ПЯВ «Кратон-2»

При изучении данного образца был получен достаточно длительный ряд наблюдений по накоплению делящихся радионуклидов в годичных кольцах деревьев, который охватывает период активного испытания ядерного оружия в атмосфере, период проведения ПЯВ «Кратон-2» (1978 г.) и современную ситуацию поступления в окружающую среду делящихся радионуклидов.

Среднее содержание делящихся радионуклидов по всем годичным кольцам, которое по плотности треков составляет $38,6 \text{ треков/мм}^2$, что в количественном выражении оценивается как $0,054 \text{ мг/кг}$ «эквивалентного урана». Полученное значение сопоставимо с ранее установленным фоновым уровнем для территории Сибири.

Анализ динамики распределения треков по годичным кольцам показывает, что год проведения ПЯВ «Кратон-2» (1978 г.) не выделяется на фоне общей динамики каким-либо повышенным накоплением делящихся радионуклидов. В целом, динамика накопления делящихся радионуклидов по годичным кольцам данного образца довольно равномерная. Незначительно повышенной концентрацией треков характеризуется начальный период развития дерева, что может быть обусловлено биологическими особенностями самого древесного растения, а также может отражать влияние периода активного испытания ядерного оружия в атмосфере.

Результаты f-радиографического анализа образца древесины, отобранного на участке ПЯВ «Плутон-1» показаны на рисунке 4. Возраст данного образца (20 годичных колец, соответствующих периоду 1991-2010 гг.) позволяет получить ограниченный ряд временных наблюдений по накоплению делящихся радионуклидов в годичных кольцах, который даже не включает год проведения ПЯВ «Плутон-1» (1980 г.).

На основании полученных данных было вычислено среднее содержание делящихся радионуклидов по всем годичным кольцам, которое по плотности треков составляет 67 треков/мм^2 , что в количественном выражении оценивается как $0,075 \text{ мг/кг}$ «эквивалентного урана». Полученное значение в 1,5 раза отличается от средних значений, установленных для образцов древесины, отобранной с участков «Горизонт-3», «Метеорит-2» и «Кратон-2», но сопоставимо с ранее установленным фоновым уровнем накопления делящихся радионуклидов в древесине для территории Сибири в целом ($0,06\text{-}0,09 \text{ мг/кг}$), и для Красноярского края ($0,06 \text{ мг/кг}$), в частности [4-5].

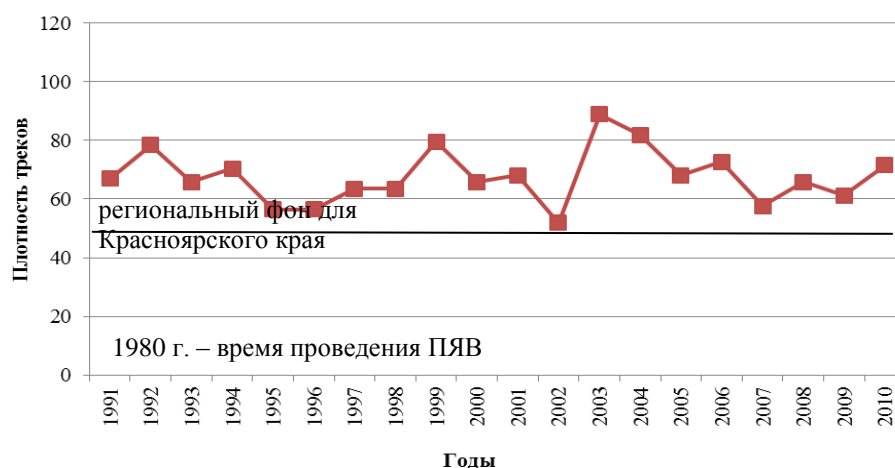


Рис. 4. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, произрастающей на территории участка «Плутон-1»

Общий анализ динамики распределения треков по годичным кольцам показывает, что накопление делящихся радионуклидов в течение всего периода роста дерева происходило равномерно, каких-либо повышенных, относительно среднего уровня по всем годичным кольцам, концентраций не зафиксировано.

На основании вышеизложенного, можно заключить, что f-радиографический анализ годичных колец позволил изучить особенности накопления определенной группы радионуклидов в древесине на территории проведения четырех подземных ядерных взрывов и выделить временные периоды их максимального поступления в окружающую среду на изучаемой территории.

Работа выполнена в рамках государственного контракта 45/2010 от 24.06.2010 г. по мероприятию «Проведение радиационного мониторинга девяти объектов подземных ядерных взрывов в мирных целях, расположенных на территории Красноярского края» между Министерством природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края и Национальным исследовательским Томским политехническим университетом

Список литературы

1. Флеров Г.Н., Берзина И.Г. Радиография минералов, горных пород и руд. – М.: Атомиздат, 1979. – 224 с.
2. Пат. 2265869 Россия. Способ оценки радиоэкологического загрязнения окружающей среды / Л.П. Рихванов, Т.А. Архангельская. Заявлено 13.05. 2004.
3. МУ НСАМ № 64 «Радиографическое изучение естественных и техногенных радионуклидов в экологических объектах», ВИМС, Москва, 1993 г.
4. Архангельская Т.А. Ретроспективная оценка радиоэкологической ситуации по результатам изучения годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. ... канд. г-м. наук. – Томск, 2004. – 21 с.
5. Замятина Ю.Л. Изучение истории поступления радионуклидов в окружающую среду на основе f-радиографического анализа годичных колец деревьев: автореф. дис.... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2008г. – 26 с.
6. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / Коллектив авт. под рук. В.А. Логачева, М.: ИздАТ, 2001. – 519 с.